



МИНОБРАЗОВАНИЯ РОССИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Санкт-Петербургский государственный технологический институт  
(технический университет)»  
(СПбГТИ(ТУ))

УТВЕРЖДАЮ

Ректор

 А.Н. Швачик

«15» января 2022 г.



### ПРОГРАММА

вступительных испытаний для приема на обучение по программе  
подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре

По дисциплине

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ  
И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ**

Научная специальность

1.2.2 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

Санкт-Петербург

2022

## СОДЕРЖАНИЕ

1	Рекомендуемая структура экзамена .....	3
2	Разделы дисциплины, рассматриваемые в ходе экзамена.....	3
3	Вопросы к вступительному экзамену.....	6
4	Учебные издания.....	9
5	Методические указания по подготовке к вступительному экзамену.....	14

## **1. Рекомендуемая структура экзамена**

1.1. Письменные ответы на три вопроса из списка экзаменационных вопросов.

1.2. Беседа с членами экзаменационной комиссии по этим вопросам и вопросам, связанным со специальностью и будущим научным исследованием.

## **2. Разделы дисциплины, рассматриваемые в ходе экзамена**

### **2.1. Математическое моделирование**

#### ***2.1.1. Основы математического моделирования***

Классификация приемов моделирования. Основные принципы моделирования. Этапы математического моделирования. Классификация математических моделей.

Построение математических моделей статических объектов.

Моделирование динамических объектов.

Требования, предъявляемые к математическим моделям: универсальность; точность; адекватность; экономичность. Способы обеспечения универсальности модели. Методы оценки точности модели. Область адекватности. Критерии оценки экономичности модели.

#### ***2.1.2. Методы имитационного и компьютерного моделирования***

Имитационное моделирование. Общие характеристики. Области применения имитационных моделей. Описание поведения системы, управление модельным временем.

Планирование имитационного эксперимента. Анализ результатов моделирования.

Среды имитационного моделирования. Пакеты, использующие язык блочного моделирования. Пакеты, использующие язык физического моделирования. Пакеты, ориентированные на использование схемы гибридного автомата.

Универсальные математические пакеты как средства компьютерного моделирования технических объектов и систем. Характеристика (решаемые задачи, функциональные возможности) и примеры универсальных математических пакетов.

Соотношение классических и нечетких множеств. Функции принадлежности: их виды, способы представления и методы их получения.

Нечеткие числа, нечеткие переменные и операции над ними.

Нечеткая лингвистическая переменная. Нечеткие логические правила продукции. База знаний для нечетких продукционных моделей.

Нечеткий вывод: фаззификация и нечеткая инференция. Дефаззификация и другие методы оценки результатов нечеткого вывода.

Программные комплексы разработки нечетких моделей. Методика построения нечетких моделей.

### ***2.1.3. Планирование и анализ результатов экспериментов***

Классификация и основные принципы планирования экспериментов. Требования, предъявляемые к факторам и откликам при планировании экспериментов. Методы планирования экспериментов при построении эмпирических моделей.

Однофакторные и многофакторные линейные эмпирические (регрессионные) модели. Нелинейные модели.

Этапы обработки экспериментальных данных при построении эмпирических моделей.

Проверка адекватности эмпирических моделей.

### ***2.1.4. Математическое моделирование и оптимизация химико-технологических процессов***

Детерминированные модели химико-технологических процессов. Основные понятия и определения. Статические и динамические модели. Модели с распределенными и сосредоточенными параметрами.

Две основные части математической модели: математическое описание моделируемого объекта; вычислительный алгоритм.

Характеристика детерминированных моделей: законы переноса массы и энергии. Конвективный и диффузионный перенос массы и энергии. Математические модели переноса массы и энергии.

Краевые условия к детерминированным математическим моделям. Начальные условия. Граничные условия Дирихле, Неймана, Робина.

Идеальные математические модели структуры потоков в аппаратах химической технологии.

Анализ математических моделей основных процессов и аппаратов химической технологии: теплообменники; процессы и аппараты гетерогенного разделения; химические реакторы.

Математическое описание кинетики химических реакций. Законы формальной кинетики. Уравнение Аррениуса.

Адекватность моделей и их адаптация под экспериментальные данные.

Понятие об оптимизации химико-технологических процессов. Постановка задач оптимизации. Выбор варьируемых параметров. Критерии оптимизации. Понятие локального и глобального экстремума. Критериальные ограничения. Понятие о многокритериальной оптимизации.

Классификация методов оптимизации. Безградиентные методы нелинейного программирования без учета и с учетом критериальных ограничений. Градиентные методы нелинейного программирования с учетом критериальных ограничений.

Одномерная оптимизация. Методы сканирования (полного перебора), дихотомии, золотого сечения и чисел Фибоначчи.

Оптимизация многомерных функций. Необходимое и достаточное условия существования экстремума функций многих переменных.

Методы покоординатного и градиентного спусков. Метод наискорейшего спуска. Метод Ньютона (метод вторых производных). Численная аппроксимация градиентов.

Оптимизация овражных и седловых функций.

Методы глобальной оптимизации.

Понятие о генетическом алгоритме оптимизации.

## **2.2. Численные методы**

### **2.2.1. Методы интерполяции и аппроксимации функций**

Интерполяция. Полиномиальная интерполяция. Интерполяционные полиномы Лагранжа и Ньютона. Оценка погрешности интерполяции.

Постановка задачи аппроксимации таблично заданных функций. Выбор вида аппроксимирующей функции: линейные, полиномиальные, трансцендентные функции. Использование метода наименьших квадратов для оценки коэффициентов аппроксимирующей функции.

Оценка значимости коэффициентов аппроксимирующей функции по критерию Стьюдента. Процедура исключения незначимых коэффициентов.

Проверка адекватности модели по критерию Фишера.

### **2.2.2. Методы численного интегрирования**

Численное интегрирование. Методы прямоугольников, трапеций, Симпсона. Оценка погрешности численного интегрирования.

### **2.2.3. Численное решение систем алгебраических уравнений**

Системы линейных алгебраических уравнений. Классификация методов решения систем линейных алгебраических уравнений. Прямые методы: метод Крамера; метод обратной матрицы; метод последовательного исключения неизвестных (метод Гаусса); метод прогонки. Использование прямых методов для решения систем линейных алгебраических уравнений.

Итерационные методы: метод простой итерации; метод Гаусса–Зейделя; метод Ньютона–Рафсона. Применение итерационных методов к решению нелинейных уравнений и их систем. Оценка погрешности решения.

### **2.2.4. Численные методы решения дифференциальных уравнений в обыкновенных и частных производных**

Задачи для обыкновенных дифференциальных уравнений. Типы задач: задача Коши; краевая задача. Приближенные методы решения задачи Коши для обыкновенных дифференциальных уравнений (метод Эйлера, метод Рунге–Кутты четвертого порядка точности). Сравнение методов численного интегрирования обыкновенных дифференциальных уравнений. Устойчивость методов решения.

Конечно-разностный метод. Этапы дискретизации и алгебраизации задачи. Алгоритмы построения разностных схем при решении краевых задач для дифференциальных уравнений (в обыкновенных и частных производных). Согласованность, устойчивость и сходимость разностных схем. Погрешность численного решения.

Характеристика явных и неявных разностных схем для решения

смешанных краевых задач для уравнений одномерного нестационарного конвективного и диффузионного переноса.

Метод конечных элементов для численного интегрирования уравнений в частных производных (методика построения численного решения и области применения).

### **2.3. Программные комплексы**

Основные этапы решения задач моделирования и исследования на ЭВМ. Построение математической модели. Выбор метода и разработка алгоритма решения уравнений модели. Программирование. Тестирование и отладка программного обеспечения. Проведение вычислительного эксперимента на модели.

Определение основных компонентов программного комплекса. Проектирование структуры программного комплекса: основные этапы; структурный анализ; структурное проектирование.

Методы организации данных. Типы данных. Уровни их организации. Уровень логической организации данных. Представление данных. Физическая организация данных.

Методы построения алгоритмов: метод «разделяй и властвуй»; методы последовательного приближения, наискорейшего спуска, обратного прохода; метод поиска с возвратом.

Алгоритмические языки. Назначение и структура языков программирования высокого уровня, основные операторы.

Методы проектирования программ: методы нисходящего и восходящего проектирования; метод расширения ядра.

Технологии программирования. Структурное и модульное программирование. Объектно-ориентированное программирование. Библиотеки подпрограмм, работа с подпрограммами. Библиотеки классов.

Организация памяти во время выполнения программы. Области данных. Описатели. Память для элементарных типов данных. Память для массивов, строк.

Проверка правильности программ. Обнаружение ошибок. Тестирование модулей. Средства защиты программных комплексов.

Оптимизация программ. Экономия памяти. Экономия времени. Повышение эффективности программ.

Пакеты прикладных программ. Основные понятия и характеристики. Проблемно-ориентированные пакеты прикладных программ. Структура пакета прикладных программ для решения научно-технических задач.

## **3. Вопросы к вступительному экзамену**

### **3.1. Вопросы по разделу «Математическое моделирование»**

1) Классификация приемов моделирования. Основные принципы моделирования. Этапы математического моделирования. Классификация

математических моделей.

- 2) Построение математических моделей статических объектов. Моделирование динамических объектов.
- 3) Требования, предъявляемые к математическим моделям. Способы обеспечения универсальности модели. Методы оценки точности модели. Область адекватности. Критерии оценки экономичности модели.
- 4) Имитационное моделирование. Общие характеристики. Области применения имитационных моделей. Описание поведения системы, управление модельным временем.
- 5) Планирование имитационного эксперимента. Анализ результатов моделирования.
- 6) Характеристика и примеры сред имитационного моделирования.
- 7) Характеристика и примеры универсальных математических пакетов.
- 8) Соотношение классических и нечетких множеств. Виды функций принадлежности. Способы представления и методы получения функций принадлежности.
- 9) Нечеткие числа, нечеткие переменные и операции над ними.
- 10) Нечеткая лингвистическая переменная. Нечеткие логические правила продукции. База знаний для нечетких продукционных моделей.
- 11) Нечеткий вывод: фаззификация и нечеткая инференция. Дефаззификация и другие методы оценки результатов нечеткого вывода.
- 12) Программные комплексы разработки нечетких моделей. Методика построения нечетких моделей.
- 13) Классификация и основные принципы планирования экспериментов. Требования, предъявляемые к факторам и откликам при планировании экспериментов. Методы планирования экспериментов.
- 14) Однофакторные и многофакторные линейные эмпирические (регрессионные) модели. Нелинейные эмпирические модели.
- 15) Этапы обработки экспериментальных данных при построении эмпирических моделей. Проверка адекватности эмпирических моделей.
- 16) Детерминированные математические модели химико-технологических процессов. Основные понятия и определения. Статические и динамические модели. Модели с распределенными и сосредоточенными параметрами.
- 17) Законы переноса массы и энергии. Конвективный и диффузионный перенос массы и энергии. Математические модели переноса массы и энергии.
- 18) Краевые условия к детерминированным математическим моделям. Начальные условия. Граничные условия Дирихле, Неймана, Робина.
- 19) Идеальные математические модели гидродинамики структуры потоков в аппаратах химической технологии.
- 20) Анализ математических моделей основных процессов и аппаратов химической технологии: теплообменники; химические реакторы.
- 21) Анализ математических моделей основных процессов и аппаратов химической технологии: процессы и аппараты гетерогенного разделения.
- 22) Математическое описание кинетики химических реакций. Законы

формальной кинетики. Уравнение Аррениуса.

23) Адекватность математических моделей и их адаптация под экспериментальные данные.

24) Понятие об оптимизации химико-технологических процессов. Постановка задач оптимизации. Варьируемые параметры. Критерии оптимизации. Понятие локального и глобального экстремума. Критериальные ограничения.

25) Классификация методов оптимизации. Безградиентные методы нелинейного программирования без учета и с учетом критериальных ограничений.

26) Классификация методов оптимизации. Градиентные методы нелинейного программирования с учетом критериальных ограничений.

27) Одномерная оптимизация. Методы сканирования, дихотомии, золотого сечения и чисел Фибоначчи.

28) Оптимизация многомерных функций. Необходимое и достаточное условия существования экстремума функций многих переменных.

29) Методы покоординатного и градиентного спусков. Метод наискорейшего спуска. Метод Ньютона. Численная аппроксимация градиентов.

30) Оптимизация овражных и седловых функций.

31) Методы глобальной оптимизации.

32) Характеристика генетического алгоритма оптимизации.

### **3.2. Вопросы по разделу «Численные методы»**

33) Интерполяция. Полиномиальная интерполяция. Интерполяционные полиномы Лагранжа и Ньютона. Оценка погрешности интерполяции.

34) Постановка задачи аппроксимации таблично заданных функций. Выбор вида аппроксимирующей функции. Использование метода наименьших квадратов для оценки коэффициентов аппроксимирующей функции.

35) Оценка значимости коэффициентов аппроксимирующей функции по критерию Стьюдента. Процедура исключения незначимых коэффициентов.

36) Проверка адекватности модели по критерию Фишера.

37) Методы численного интегрирования. Оценка погрешности численного интегрирования.

38) Системы линейных алгебраических уравнений. Классификация методов решения систем линейных алгебраических уравнений. Прямые методы.

39) Итерационные методы решения систем линейных алгебраических уравнений. Применение итерационных методов к решению нелинейных уравнений и их систем. Оценка погрешностей решения.

40) Задачи для обыкновенных дифференциальных уравнений. Типы задач. Приближенные методы решения задачи Коши для обыкновенных дифференциальных уравнений и их сравнение. Устойчивость методов.

41) Конечно-разностный метод. Этапы дискретизации и алгебраизации задачи. Согласованность, устойчивость и сходимости разностных схем. Погрешность численного решения.

42) Характеристика явных и неявных разностных схем для решения



смешанной краевой задачи для уравнения одномерного нестационарного конвективного переноса.

43) Характеристика явных и неявных разностных схем для решения смешанной краевой задачи для уравнения одномерного нестационарного диффузионного переноса.

44) Характеристика метода конечных элементов для численного интегрирования уравнений в частных производных.

### **3.3. Вопросы по разделу «Программные комплексы»**

45) Этапы моделирования и исследования объектов на ЭВМ. Построение математической модели. Разработка вычислительного алгоритма. Создание компьютерной модели. Проведение вычислительного эксперимента.

46) Определение основных компонентов программного комплекса. Проектирование структуры программного комплекса: основные этапы; структурный анализ; структурное проектирование.

47) Методы организации данных. Типы данных. Уровни их организации. Уровень логической организации данных. Представление данных. Физическая организация данных.

48) Методы построения алгоритмов: метод «разделяй и властвуй»; методы последовательного приближения, наискорейшего спуска, обратного прохода; метод поиска с возвратом.

49) Алгоритмические языки. Назначение и структура языков программирования высокого уровня, основные операторы.

50) Методы проектирования программ: метод нисходящего проектирования; метод расширения ядра; метод восходящего проектирования.

51) Технологии программирования. Структурное и модульное программирование. Объектно-ориентированное программирование. Библиотеки подпрограмм, работа с подпрограммами. Библиотеки классов.

52) Организация памяти во время выполнения программы. Области данных. Описатели. Память для элементарных типов данных. Память для массивов.

53) Проверка правильности программ. Обнаружение ошибок. Тестирование модулей. Средства защиты программных комплексов.

54) Оптимизация программ. Экономия памяти. Экономия времени. Повышение эффективности программ.

55) Пакеты прикладных программ. Основные понятия и характеристики. Проблемно-ориентированные пакеты прикладных программ. Структура пакета прикладных программ для решения научно-технических задач.

## **4. Учебные издания**

### **а) печатные учебные издания:**

1. Васильев, Ф. П. Методы оптимизации : учебник для вузов. В 2 частях. Часть 1. Конечномерные задачи оптимизации. Принцип максимума. Динамическое программирование / Ф. П. Васильев. – Изд. новое, перераб. и

доп. – Москва : МЦНМО, 2011. – 619 с. – ISBN 978-5-94057-706-5.

2. Волков, Е. А. Численные методы : учебное пособие / Е. А. Волков. – 5-е изд., стер. – Санкт-Петербург [и др.] : Лань, 2008. – 248 с. – ISBN 978-5-8114-0538-1.

3. Зарубин, В. С. Математическое моделирование в технике : учебник для вузов / В. С. Зарубин. – 3-е изд. – Москва : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. – 495 с. – ISBN 978-5-7038-3022-2.

4. Компьютерные технологии построения математических моделей химико-технологических процессов на основе полного факторного эксперимента : учебное пособие / В. А. Холоднов, В. М. Крылов, В. П. Андреева [и др.] ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра математического моделирования и оптимизации химико-технологических процессов. – Санкт-Петербург : СПбГТИ(ТУ), 2010. – 53 с.

5. Марчук, Г. И. Методы вычислительной математики : учебное пособие для вузов / Г. И. Марчук. – 4-е изд., стер. – Санкт-Петербург [и др.] : Лань, 2009. – 608 с. – ISBN 978-5-8114-0892-4.

6. Морозов, В. К. Моделирование информационных и динамических систем : учебное пособие для вузов / В. К. Морозов, Г. Н. Рогачев. – Москва : Академия, 2011. – 377 с. – ISBN 978-5-7695-4221-3.

7. Норенков, И. П. Автоматизированные информационные системы : учебное пособие для вузов / И. П. Норенков. – Москва : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. – 342 с. – ISBN 978-5-7038-3446-6.

8. Расчеты химико-технологических процессов : учебное пособие для вузов / А. Ф. Губолкин, Е. С. Тумаркина, Э. Я. Тарат [и др.] ; под редакцией И. П. Мухленова. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Альянс, 2015. – 248 с. – ISBN 978-5-91872-079-0.

9. Советов, Б. Я. Моделирование систем : учебник для вузов / Б. Я. Советов, С. А. Яковлев. – 7-е изд. – Москва : Юрайт, 2013. – 343 с. – ISBN 978-5-9916-2698-9.

10. Чистякова, Т. Б. Математическое моделирование химико-технологических объектов с распределенными параметрами : учебное пособие для вузов / Т. Б. Чистякова, А. Н. Полосин, Л. В. Гольцева. – Санкт-Петербург : ЦОП «Профессия», 2010. – 240 с. – ISBN 978-5-91884-015-3.

11. Чистякова, Т. Б. Применение универсальных моделирующих программ для синтеза и анализа технологических процессов : учебное пособие / Т. Б. Чистякова, Л. В. Гольцева, А. В. Козлов ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра систем автоматизированного проектирования и управления. – Санкт-Петербург : СПбГТИ(ТУ), 2011. – 65 с.

#### **б) электронные учебные издания:**

12. Андрианова, А. А. Алгоритмизация и программирование.

Практикум : учебное пособие / А. А. Андрианова, Л. Н. Исмагилов, Т. М. Мухтарова. – Санкт-Петербург [и др.] : Лань, 2019. – 240 с. – ISBN 978-5-8114-3336-0 // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com> (дата обращения: 27.01.2022). – Режим доступа: по подписке.

13. Агаянц, И. М. Азы статистики в мире химии: Обработка экспериментальных данных / И. М. Агаянц. – Санкт-Петербург : НОТ, 2015. – 618 с. – ISBN 978-5-91703-044-9 // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com> (дата обращения: 27.01.2022). – Режим доступа: по подписке.

14. Гартман, Т. Н. Моделирование химико-технологических процессов. Принципы применения пакетов компьютерной математики : учебное пособие для вузов / Т. Н. Гартман, Д. В. Клушин. – Санкт-Петербург : Лань, 2020. – 404 с. – ISBN 978-5-8114-3900-3 // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com> (дата обращения: 27.01.2022). – Режим доступа: по подписке.

15. Голубева, Н. В. Математическое моделирование систем и процессов : учебное пособие для вузов / Н. В. Голубева. – 3-е изд., стер. – Санкт-Петербург [и др.] : Лань, 2021. – 192 с. – ISBN 978-5-8114-8721-9 // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com> (дата обращения: 27.01.2022). – Режим доступа: по подписке.

16. Гумеров, А. М. Математическое моделирование химико-технологических процессов : учебное пособие для вузов / А. М. Гумеров. – 2-е изд., перераб. – Санкт-Петербург [и др.] : Лань, 2021. – 176 с. – ISBN 978-5-8114-1533-5 // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com> (дата обращения: 27.01.2022). – Режим доступа: по подписке.

17. Затонский, А. В. Моделирование объектов управления в MatLab : учебное пособие / А. В. Затонский, Л. Г. Тугашова. – Санкт-Петербург [и др.] : Лань, 2019. – 144 с. – ISBN 978-5-8114-3270-7 // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com> (дата обращения: 27.01.2022). – Режим доступа: по подписке.

18. Компьютерные технологии моделирования процессов получения высокотемпературных наноструктурированных материалов : учебное пособие / Т. Б. Чистякова, А. Н. Полосин, И. В. Новожилова, Л. В. Гольцева ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра систем автоматизированного проектирования и управления. – Санкт-Петербург : СПбГТИ(ТУ), 2013. – 223 с. // СПбГТИ(ТУ). Электронная библиотека. – URL: <https://technolog.bibliotech.ru> (дата обращения: 27.01.2022). – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей.

19. Марков, Ю. Г. Математические модели химических реакций : учебник / Ю. Г. Марков, И. В. Маркова. – Санкт-Петербург [и др.] : Лань, 2013. – 192 с. – ISBN 978-5-8114-1483-3 // Лань : электронно-библиотечная

система. – URL: <https://e.lanbook.com> (дата обращения: 27.01.2022). – Режим доступа: по подписке.

20. Палей, А. Г. Имитационное моделирование. Разработка имитационных моделей средствами iWebsim и AnyLogic : учебное пособие / А. Г. Палей, Г. А. Поллак. – Санкт-Петербург [и др.] : Лань, 2019. – 208 с. – ISBN 978-5-8114-3844-0 // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com> (дата обращения: 27.01.2022). – Режим доступа: по подписке.

#### **в) вспомогательные печатные и электронные источники:**

21. Барботько, А. И. Основы теории математического моделирования : учебное пособие для вузов / А. И. Барботько, А. О. Гладышкин. – 2-е изд., перераб. и доп. – Старый Оскол : ТНТ, 2009. – 209 с. – ISBN 978-5-94178-148-5.

22. Барков, И. А. Объектно-ориентированное программирование : учебник / И. А. Барков. – Санкт-Петербург [и др.] : Лань, 2019. – 700 с. – ISBN 978-5-8114-3586-9 // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com> (дата обращения: 27.01.2022). – Режим доступа: по подписке

23. Власова, Е. А. Приближенные методы математической физики : учебник для вузов / Е. А. Власова, В. С. Зарубин, Г. Н. Кувыркин ; под редакцией В. С. Зарубина, А. П. Крищенко. – Москва : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. – 699 с. – ISBN 5-7038-1768-4.

24. Гартман, Т. Н. Основы компьютерного моделирования химико-технологических процессов : учебное пособие для вузов / Т. Н. Гартман, Д. В. Клушин. – Москва : Академкнига, 2006. – 416 с. – ISBN 5-94628-268-9.

25. Гиляров, В. Н. Нечеткие интеллектуальные химико-технологические системы : методические указания / В. Н. Гиляров ; Федеральное агентство по образованию, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра систем автоматизированного проектирования и управления. – Санкт-Петербург : [б. и.], 2005. – 46 с.

26. Гусятников, В. Н. Стандартизация и разработка программных систем : учебное пособие для вузов / В. Н. Гусятников, А. И. Безруков. – Москва : Финансы и статистика : ИНФРА-М, 2010. – 288 с. – ISBN 978-5-279-03450-5.

27. Ибрагимов, И. М. Основы компьютерного моделирования наносистем : учебное пособие / И. М. Ибрагимов, А. Н. Ковшов, Ю. Ф. Назаров. – Санкт-Петербург [и др.] : Лань, 2010. – 376 с. – ISBN 978-5-8114-1032-3.

28. Интеллектуальные системы технологического проектирования, управления и обучения в многоассортиментном производстве гранулированных пористых материалов из тонкодисперсных частиц / Т. Б. Чистякова, Ю. И. Шляго, И. В. Новожилова, Н. В. Мальцева. – Санкт-

Петербург : Изд-во СПбГТИ(ТУ), 2012. – 324 с. – ISBN 978-5-905240-47-8.

29. Карпенко, А. П. Современные алгоритмы поисковой оптимизации. Алгоритмы, вдохновленные природой : учебное пособие / А. П. Карпенко. – 2-е изд. – Москва : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017. – 446 с. – ISBN 978-5-7038-4634-6.

30. Компьютерные программы для решения задач многоцелевой оптимизации в химической технологии : учебное пособие для вузов / В. А. Холоднов, Д. А. Краснобородько, Р. Ю. Кулишенко, М. Ю. Лебедева. – Москва : Юрайт, 2022. – 196 с. – ISBN 978-5-534-14875-6.

31. Лафоре, Р. Объектно-ориентированное программирование в C++ / Р. Лафоре. – 4-е изд. – Москва [и др.] : Питер, 2015. – 928 с. – ISBN 978-5-496-00353-7.

32. Лесин, В. В. Основы методов оптимизации : учебное пособие / В. В. Лесин, Ю. П. Лисовец. – 3-е изд., испр. – Санкт-Петербург [и др.] : Лань, 2011. – 341 с. – ISBN 978-5-8114-1217-4.

33. Липаев, В. В. Тестирование компонентов и комплексов программ : учебник / В. В. Липаев. – Москва : СИНТЕГ, 2010. – 400 с. – ISBN 978-5-89638-115-0.

34. Математическое моделирование технологических процессов : учебное пособие для вузов / В. С. Балакирев, С. И. Дворецкий, Н. Н. Аниськина, В. Н. Акишин. – Ярославль : Издательский дом Н. П. Пастухова, 2018. – 351 с. – ISBN 978-5-904937-09-6.

35. Моделирование систем : учебник для вузов / С. И. Дворецкий, Ю. Л. Муромцев, В. А. Погонин, А. Г. Схиртладзе. – Москва : Академия, 2009. – 316 с. – ISBN 978-5-7695-4737-9.

36. Незнанов, А. А. Программирование и алгоритмизация : учебник для вузов / А. А. Незнанов. – Москва : Академия, 2010. – 304 с. – ISBN 978-5-7695-6767-4 // СПбГТИ(ТУ). Электронная библиотека. – URL: <https://technolog.bibliotech.ru> (дата обращения: 27.01.2022). – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей.

37. Нечеткое моделирование и управление в технических системах : учебное пособие / Ю. И. Кудинов, Ф. Ф. Пащенко, И. Ю. Кудинов, А. Ф. Пащенко. – 3-е изд., стер. – Санкт-Петербург [и др.] : Лань, 2022. – 208 с. – ISBN 978-5-8114-9031-8 // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com> (дата обращения: 27.01.2022). – Режим доступа: по подписке.

38. Никифоров, А. Ф. Лекции по уравнениям и методам математической физики / А. Ф. Никифоров. – Долгопрудный : Интеллект, 2009. – 133 с. – ISBN 978-5-91559-031-0.

39. Островский, Г. М. Оптимизация в химической технологии / Г. М. Островский, Ю. М. Волин, Н. Н. Зиятдинов. – Казань : Фэн, 2005. – 394 с. – ISBN 5-9690-0045-0.

40. Плохотников, К. Э. Математическое моделирование и вычислительный эксперимент : методология и практика / К. Э. Плохотников. –

Москва : Эдиториал УРСС, 2003. – 280 с. – ISBN 5-354-00521-3.

41. Сабитов, К. Б. Уравнения математической физики : учебное пособие для вузов / К. Б. Сабитов. – Москва : Высшая школа, 2003. – 255 с. – ISBN 5-06-004676-1.

42. Самарский, А. А. Математическое моделирование. Идеи. Методы. Примеры / А. А. Самарский, А. П. Михайлов. – 2-е изд., испр. – Москва : Физматлит, 2005. – 316 с. – ISBN 5-9221-0120-X.

43. Срочко, В. А. Численные методы. Курс лекций : учебное пособие для вузов / В. А. Срочко. – Санкт-Петербург [и др.] : Лань, 2010. – 202 с. – ISBN 978-5-8114-1014-9.

44. Строгалев, В. П. Имитационное моделирование : учебное пособие для вузов / В. П. Строгалев, И. О. Толкачева. – 3-е изд. – Москва : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2017. – 295 с. – ISBN 978-5-7038-4751-0.

45. Тарасик, В. П. Математическое моделирование техническим систем : учебник для вузов / В. П. Тарасик. – Москва : ИНФРА-М ; Минск : Новое знание, 2016. – 591 с. – ISBN 978-5-16-011996-0.

46. Тенишев, Д. Ш. Лингвистическое и программное обеспечение автоматизированных систем : учебное пособие для вузов / Д. Ш. Тенишев ; под редакцией Т. Б. Чистяковой. – Санкт-Петербург : ЦОП «Профессия», 2010. – 403 с. – ISBN 978-5-91884-017-7.

47. Технология вычислений в системе компьютерной математики Mathcad : учебное пособие / В. А. Холоднов, В. П. Дьяконов, В. В. Фонарь [и др.] ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра системного анализа. – Санкт-Петербург : СПбГТИ(ТУ), 2014. – 154 с. // СПбГТИ(ТУ). Электронная библиотека. – URL: <https://technolog.bibliotech.ru> (дата обращения: 27.01.2022). – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей.

48. Чистякова, Т. Б. Интеллектуальное управление многоассортиментным коксохимическим производством / Т. Б. Чистякова, О. Г. Бойкова, Н. А. Чистяков. – Санкт-Петербург : ЦОП «Профессия», 2010. – 187 с. – ISBN 978-5-91884-013-9.

## **5. Методические указания по подготовке к вступительному экзамену**

При подготовке к вступительному экзамену поступающим в аспирантуру необходимо ориентироваться на разделы, посвященные методам и программным средствам математического моделирования и оптимизации технических объектов, методам планирования и обработки результатов экспериментов, методам численного решения уравнений математических моделей различных классов, методам и технологиям разработки программных комплексов для моделирования и исследования технических объектов, которые были изучены в ходе освоения соответствующих учебных

дисциплин в бакалавриате и магистратуре или специалитете. В ходе подготовки к вступительному экзамену следует выполнить анализ современной литературы и электронных ресурсов (в том числе изданий электронно-библиотечных систем, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»), приведенных в настоящей программе, и общеобразовательную проработку изложенных в ней разделов дисциплины. Необходимо прочитать рекомендованные издания и при необходимости составить краткий конспект основных положений, терминов, сведений, требующих запоминания и являющихся основополагающими в каждом разделе дисциплины.

Для расширения и углубления знаний по дисциплине рекомендуется использовать следующие Интернет-ресурсы:

Фундаментальная библиотека Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета) университета (URL: <http://bibl.lti-gti.ru>);

Российская государственная библиотека (URL: <https://www.rsl.ru>);

Российская национальная библиотека (URL: <http://nlr.ru>);

Библиотека Академии Наук (URL: <http://www.rasl.ru>);

Государственная публичная научно-техническая библиотека России (URL: <https://www.gpntb.ru>);

Всероссийский институт научной и технической информации Российской академии наук (ВИНИТИ РАН) (URL: <http://www.viniti.ru>);

Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU (URL: <https://elibrary.ru>);

информационно-поисковая система Интернет-портала Федерального института промышленной собственности (URL: <https://new.fips.ru/iiss>);

образовательный математический сайт (URL: <https://exponenta.ru>);

федеральный портал «Российское образование» (URL: <https://edu.ru>);

Российский портал открытого образования (URL: <https://openedu.ru>).